

## 茨城県東海村における1981年8月の 海風の高度別流線と鉛直シアー

Stream lines in upper layers and vertical shares of sea breeze, August 1981 in TOKAI Village,  
IBARAKI Prefecture

安達隆史\* 筑紫文夫† 林隆‡  
ADACHI Takashi TSUKUSHI Fumio HAYASHI Takashi

**要約:** 地学の気象分野は、環境問題を理解する上で重要な分野であるが、大学や高校において、風が大気汚染物質等を運び、拡散させているという観点での気象学教材が必ずしも十分ではない。この論文は、科学的な新たな知見を発表するとともに、上記の教材不足を補うものである。1981年8月に茨城県東海村の海岸を含む陸側約12km四方の領域において、日本原子力研究所によって4地点同時の測風気球観測が行われているので、その貴重なデータを使用して、海風時に着目した約1km以下の高度別の流線と地点別の風向風速の高度変化を解析した。その結果、地上から高度75m～925mに風向または風速の顕著な鉛直シアーが認められた。その場合に、風速が高度とともに減少するために風速鉛直分布のべき法則が適用できないような事例があった。この鉛直シアーは大気中に高所放出される大気汚染物質や放射性ガスの移流拡散予測に大きな影響を与えるが、観測によって面的にとらえた例は、これまでにほとんど発表されていないので、貴重な教材となる。

**キーワード:** 海風, 流線, 鉛直シアー, ウインドシアー, 大気汚染

### I はじめに

この論文は地学または環境科学の内、大気拡散に関係する気象を研究したものである。内容は、比較的平坦な沿岸地域において、高い煙突または排気筒からの排煙または放射性ガスの移流拡散を予測する場合に問題となる海風の鉛直シアーについてである。安達ら(2006)は1980年10月に茨城県東海村で観測されたパイバル観測データを解析し、海風の顕著な鉛直シアーが地上250～750mに現れたことを報告した。この時の観測点は海岸から内陸方向へほぼ一直線状に10kmまでであったため、横方向即ち、海岸線と平行な方向の風の分布状況がわからなかった。今回はほぼ同じ地域であるが、翌年の1981年8月に、海岸を含む陸側約12km四方の領域において、4地点で同時に実施されたパイバル観測のデータ(角田ら, 1986)を解析する。ここで、海風の鉛直シアーとは、地表からの海風層とその上の反流または一般流などとの境目にできる風向または風速の差が顕著な部分を指す。特に、風向差については90度以上の現象に着目した。また、パイバル観測とは、パイロットバルーン観測の略語であり、測風気球をセオドライトという高度角・方位角の目盛がついた望遠鏡で目視追跡するもので、測風気球観測とも呼ばれる。

典型的な海陸風は、地上付近で、昼間は海から陸へ向かう風、夜間は陸から海へ向かう風となる。一方、数百メートル程度の上空では、それぞれ反流となっているとされる。実際には、この反流の方向や高度はより規模の大きい気象現象(一般流など)の影響を受けることによって様々となり、反

\*理科教育講座, †(財)日本気象協会首都圏支社, ‡(元)日本原子力研究開発機構東海研究開発センター原子力科学研究所

流と一般流などとの区別がつかなくなる場合もある。そのために煙突の高さと反流または一般流などの高さとの兼ね合いで煙の行方も様々となる。このように海風の鉛直シアの状況は環境アセスメントの際に重要な要素となる。一方、大学や高校において気象学や環境科学の講義を行う場合に、これまでに教材として使える海風の立体分布の実測例が必ずしも十分ではない。特に、地上から高度 1km 程度までを 50m 間隔で、なおかつ前記のように海岸から内陸にかけて複数地点同時に行われた空間的・時間的に高密度の風向風速観測は、これまでにほとんど発表されていないので貴重である。今回のこの研究も安達ら (2006) と同様に、大気汚染規制・原子炉施設の安全確保と教材開発の双方からの要求に答えようとするものである。

なお、この論文では、海岸付近の高い煙突等からの排煙等による陸上の大気汚染等に係わる研究を目標としているので、海陸風機構に深く係わることはせず、海から陸に向かう風をすべて研究対象として海風と呼ぶ。また、荒井ら (2008) は既に、東海村における 1992 年の夏の 2 週間について、高度別風配図を、地上から 500m までは 50m 間隔、その上 1km までは 100m 間隔、その上 3km までは 1km 間隔で発表した。それらによると 1km 以下では北東から東の風、すなわち海よりの風が卓越しているため、当該地域で海風の鉛直構造に関する研究を行うことには意義がある。

## II 研究方法

この研究では、1981 年 8 月、茨城県の県都水戸市より北東約 15km の那珂郡東海村 (東経  $140^{\circ} 34'$  北緯  $36^{\circ} 28'$ 、図 1) において日本原子力研究所 (現在、日本原子力研究開発機構) が実施した大型の大気拡散実験 “TOKAI 81” の中のパイバル観測データ及び天気図 (角田ら: 1986) を利用する。この実験には、当時、著者らも研究者または研究受託者として実験計画策定、現地指揮、気象観測、ヘリコプター搭乗などに参加した。この実験の概要は角田ら (1987) と安達 (1999) に紹介されているが、ここで簡単に述べると、海岸線上空 150m 高度に保ってヘリコプターを反復飛行させ、トレーサーガスを海岸線に沿った長さ約 7km の線状に高所放出するという大気拡散実験である。この野外実験の結果は原子炉施設の「緊急時線量予測システム」の開発に供されたが、気象観測結果の基礎的部分の多くは未発表のままである。従ってそれらを解析する今回の研究にはオリジナリティがある。

パイバル観測点を図 2 に示すが、東端の海岸から A, E の順に内陸側 (西方) に配置され、さらに南側に M, 北側に J 点が配置されている。図中のほぼ南北の海岸線の右側が太平洋で、沖合は寒流域であることが多い。海岸線の中央よりやや上方に、日本原子力発電株式会社東海第二発電所 (略称、東海原発) の港の防波堤があり、次に久慈川河口、さらに右上角が日立港となる。A 点は日本原子力研究所東海研究所 (略称、原研) の構内にあり、海岸近くの平坦地であるが、A 点の西側には高さ数 10m で南北 2km 程度の丘があるので、そのことに留意して E 点が配置された。この図の範囲内は水田、畑、山林、住宅地、及び市街地で比較的平坦な地形である。

パイバルによる風向風速の観測高度は、地上 25m から 50m 間隔で 975m 高までの計 20 高度である。この他に、高度別流線図用に、地上 50, 150, 200, 250, 300, 500, 950m 高の風向風速も内挿計算により求めた。

## III 解析

実験 “TOKAI 81” は 1981 年 8 月 20 日～28 日に実施され、海からの風が定常的に吹き、降雨がない等の実験条件に合う 90 分間を単位として 11 回実施された。この 90 分間を実験の小区分として



図1 東海村の位置（関東地方北部，太平洋岸，茨城県の県都水戸市より北東に約15kmの沿岸地域．気象庁の関東地方地図を元に作成）

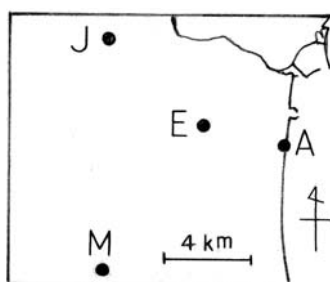


図2 東海村でのパイバル観測地点の配置（海岸のA点の北側の突起は，東海原発の港の防波堤，さらに北側が久慈川河口，さらに北は日立港である．図の右側が太平洋，左側が内陸．）

RUNと呼ぶ．さらに，ダミー放出時間に相当する前段（60分）を枝番の1，捕集時間に相当する後段（30分）を枝番の2とし，簡単のためにそれぞれ前半，後半と呼ぶ．なお，ダミー放出時間とは，エアトレーサーが放出点から全捕集点まで達するに要する時間を確保するためのものである．

海風の鉛直シアが観測されたRUN（枝番付き）のみの実験時間，地上風，日射量，パスキル安定度を表1にまとめた．パスキル安定度には地上7.5m高の風速をそのまま適用した．なお，RUN11の地上風向は弱風のために変化が大きかったので期間の代表性が低い．また，実験日の天気概況を把握するために天気図も収集した．RUNは1回が90分で，その間に15分間隔で7回のパイバル観測が前記の4地点同時に行われた．それらを地点毎に，前半4回（60分間）と後半の3回（30分間）に分け，前半は4回の観測値の平均，後半は3回の観測値の平均をそれぞれ用いた．使用した風向風速のパイバル観測値は高さの観測間隔（50m）に相当する空間平均値とみなせるが，気球が毎分100mの速度で上昇するので，短時間の観測値である．そのため，時間平均も採用して観測精度を高

めたものである。

表 1 海風の鉛直シア観測日時と A 点での地上気象

RUN	月/日	時間	地上 7.5m の 風向	地上 7.5m の 風速 (m/s)	日射量 (kw/m <sup>2</sup> )	パスキル安定度
3-1	8/21	14:00~15:00	ENE	2.8	0.29	C
3-2	8/21	15:00~15:30	ENE	2.5	0.24	C
7-1	8/25	8:30~9:30	E	2.1	0.61	A-B
7-2	8/25	9:30~10:00	E	2.9	0.72	A-B
8-1	8/25	12:30~13:30	ESE	2.1	0.55	B
8-2	8/25	13:30~14:00	ESE	2.0	0.66	A-B
9-1	8/25	15:30~16:30	SE	2.6	0.13	D
10-1	8/28	14:00~15:00	ENE	1.1	0.27	B
10-2	8/28	15:00~15:30	ENE	1.0	0.25	B
11-1	8/28	16:30~17:30	S	1.1	0.07	D
11-2	8/28	17:30~18:00	SSW	1.0	0.01	D
(注) 前半 (枝番の 1) は 1 時間, 後半 (枝番の 2) は 30 分間の平均値						

RUN 毎に, 海岸から内陸に向かう約 12km 四方の領域内で風向風速が鉛直方向と水平方向にどのように変化するかを見るために, まず, 高度別の流線図を作成した. この流線とは, 時刻を固定して, 地点毎の風ベクトルを滑らかにつないだ直線または曲線のことである. 次に, 風向シアを詳しく見るために, 天気図の風向・風力記号を用いて, 風向風速場の鉛直断面図に類似したものを作成した. 風向は矢羽の軸の向きで表すが, 上向きが北風に該当する. 南風ならば下向きに, 東風ならば右向きに, 西風ならば左向きにする. 北東風は北風と東風の間, 北北東風は北風と北東風の間になる. 以下, 同様である. 風速は図中の例示に従って羽根の数と長さで表し, 10m/s は塗りつぶした三角旗で表す.

次に, 風速の鉛直シアを見るために 4 地点を重ねた風速鉛直分布図を作成した. 以下に, RUN 毎の解析結果を述べる.

## 1 RUN 3 の解析

図 3 に RUN 3 を実施した日 (1981 年 8 月 21 日) の午前 9 時の天気図を示す. 天気概況は, 日本海に低気圧が現れ, 本州南方海上には台風 15 号があり, 北上しているため, 天気は全般に曇天となった. 現地も曇天が続き, 海岸線では特に雲底が低くなった. 風は北東風で, まだ強くはならず 2~3 m/s であった. この時はシーリング・視界不良のためにヘリコプター飛行が不可能となり, トレーサー放出が中止され, 濃度のバックグラウンド捕集と気象観測が実施された. 表 1 によれば, 前半, 後半いずれも海風でパスキル安定度が C であった.

図 4 に RUN3 の高度別流線図を示す. 左図に示した前半は 200m, 250m, 300m, 500m のそれぞれの間に風向の鉛直シアが認められる. 右図に示した後半は 200m と 250m の間に風向の鉛直シアが認められる. 詳しく見るために, 図 5 に RUN3 の風向風速鉛直断面図を示すが, 前半は 175~400m に, 後半は 175~475m に風向の鉛直シアが確認される. 図 6 に RUN3 の風速鉛直分布を

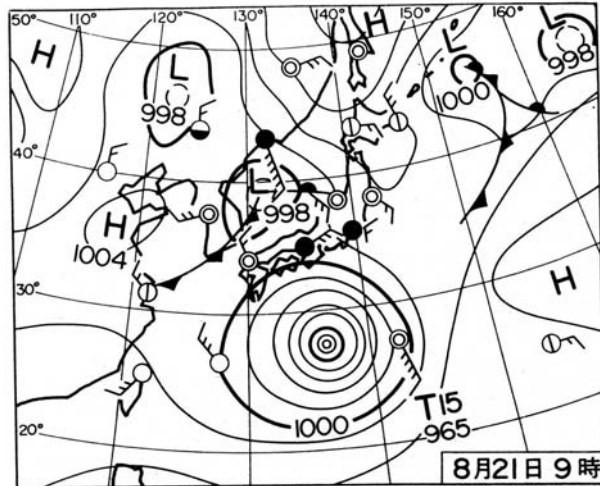


図 3 RUN 3 の実施日の天気図

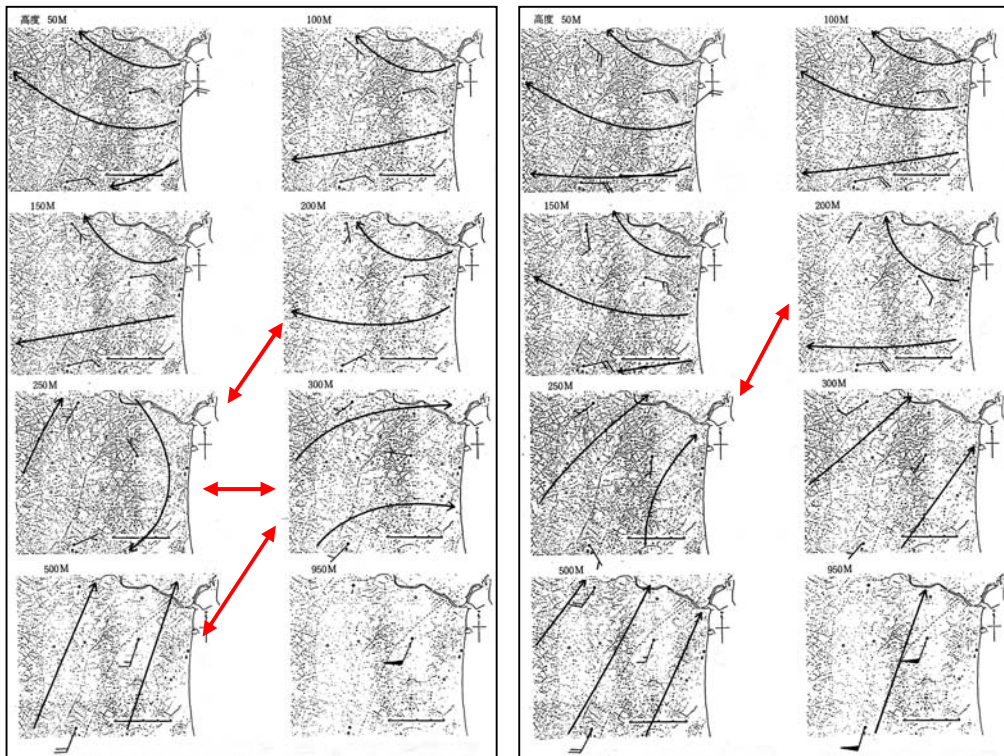


図 4 高度別流線図 (左図: RUN 3 前半, 右図: RUN 3 後半, 図の上が北, 高度は左図, 右図の各々, 上段左が 50m, 上段右が 100m, 二段目左が 150m, 二段目右が 200m, 三段目左が 250m, 三段目右が 300m, 四段目左が 500m, 四段目右が 950m. 2 高度を結ぶ赤色の両矢印は, 鉛直シアー発生気層を示す.)

示すが, 高度約 250m に風速の極小値が現れ, その前後の高度に風速の鉛直シアーが認められる. さらに, 300m 以下は風速が単純に高さとともに増大していないので, 風速が単純に増加して風速鉛直分布のべき法則が適用できるのはせいぜい 100m 以下である. 結局, 250m を中心として厚さ約 300m



の層が、下層の海風とその上の反流または一般流との遷移層となっていることがわかる。

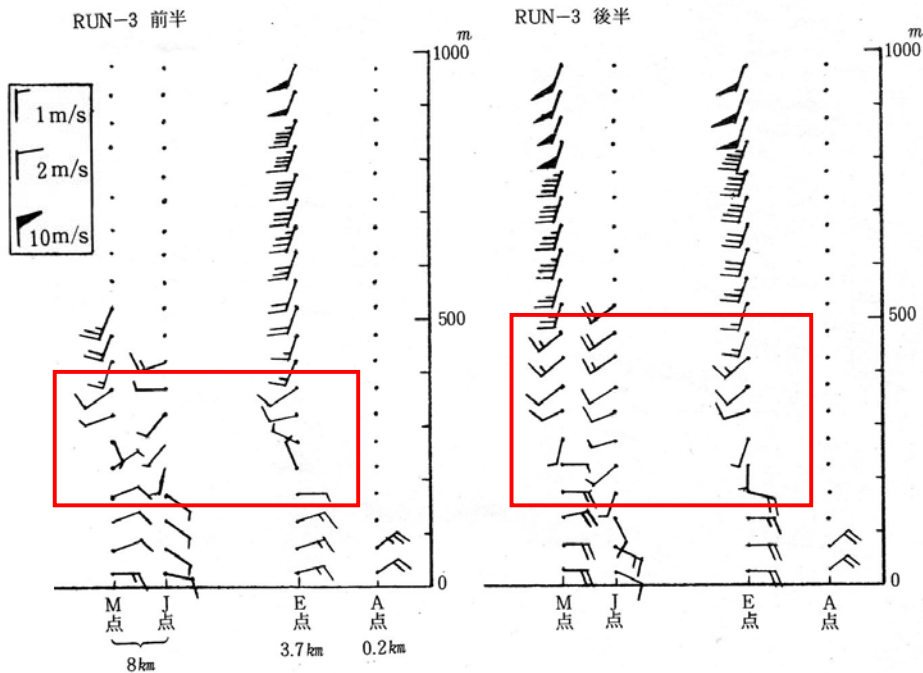


図 5 RUN3 の風向風速鉛直断面図（前半は観測値 4 個平均，後半は 3 個平均：スカラー平均値，A 点：原研構内で海岸から 0.2km，E 点：A 点のほぼ西方で海岸から 3.7km，J 点：A 点のほぼ北西方向で海岸から約 8km，M 点：A 点のほぼ南西方向で，海岸から約 8km，風向を表す風向軸の方向は上が北風，右が東風，下が南風，左が西風を表す．風速（風力）は図中で示したように，矢羽根の長さと同数等で表す．矢羽根の記載がない高度は霧や雲のために欠測．従って，前半，後半ともに A 点の地上 25m の風は北東風 4m/s 前後を表している．赤色枠は，鉛直シア発生気層を示す。）

## 2 RUN7 の解析

図 7 に RUN7 (8 月 25 日) の天気図を示した．東日本は，東方海上から張り出す高気圧に覆われていたが，南岸の前線が北上し，活発となったため，天気は雲が多く次第に下り坂となった．現地も午前中は晴れていたが，午後は曇りとなった．風は 2-3m/s 程度であったが，風向は午前中，東北東から東，午後には東南東から南東に変化した．RUN7 の前半，後半ともに海風で，パスキル安定度は A-B である．

図 8 に RUN7 の高度別流線図を示す．前半も後半も 300m 以下のほとんどで流線が曲率をもっていることがわかる．これは領域内の風向の水平一様性が保たれていないことを意味する．また，300m と 500m の間に風向の鉛直シアが認められる．詳しく見るために，図 9 に RUN7 の風向風速鉛直断面図を示すが，前半は 425-625m に，後半は 425-575m に風向の鉛直シアが確認される．800m 程度にも風向の弱い鉛直シアが認められる．下から上に向って，東北東風の海風，遷移層，南風，南東風の 4 層構造になっている．図 10 に RUN7 の風速鉛直分布を示すが，高度約 500m に風速の極小値が現れ，その前後の高度に風速の鉛直シアが認められる．風速が単純に増加して風速鉛直分布

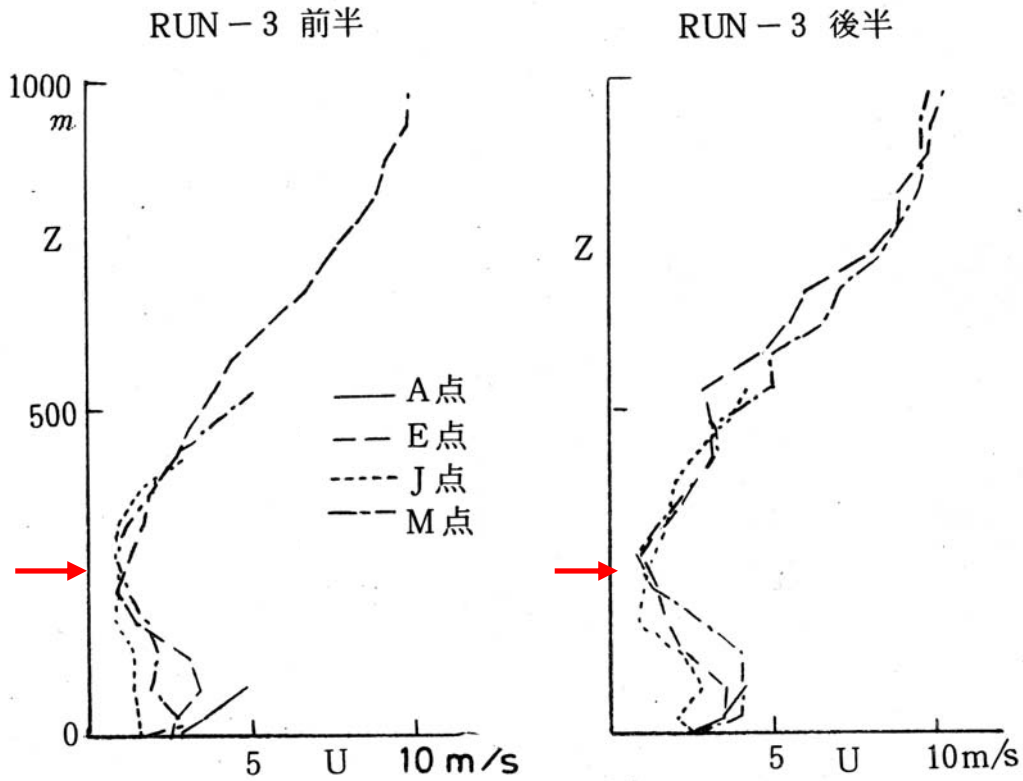


図 6 RUN3 における 4 地点の風速鉛直分布 (実線が A 点, 破線が E 点, 点線が J 点, 一点鎖線が M 点. 赤色矢印は, 風速極小の高度を示す.)

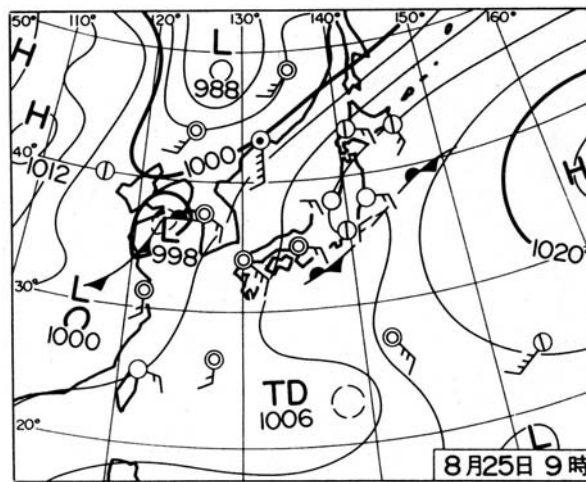


図 7 RUN7, 8, 9 の実施日の天気図

のべき法則が適用可能な範囲はおおよそ 150m 以下である. 結局, 500m を中心として厚さ約 200m の層が, 下層の海風とその上の反流または一般流との遷移層となっていることがわかる.

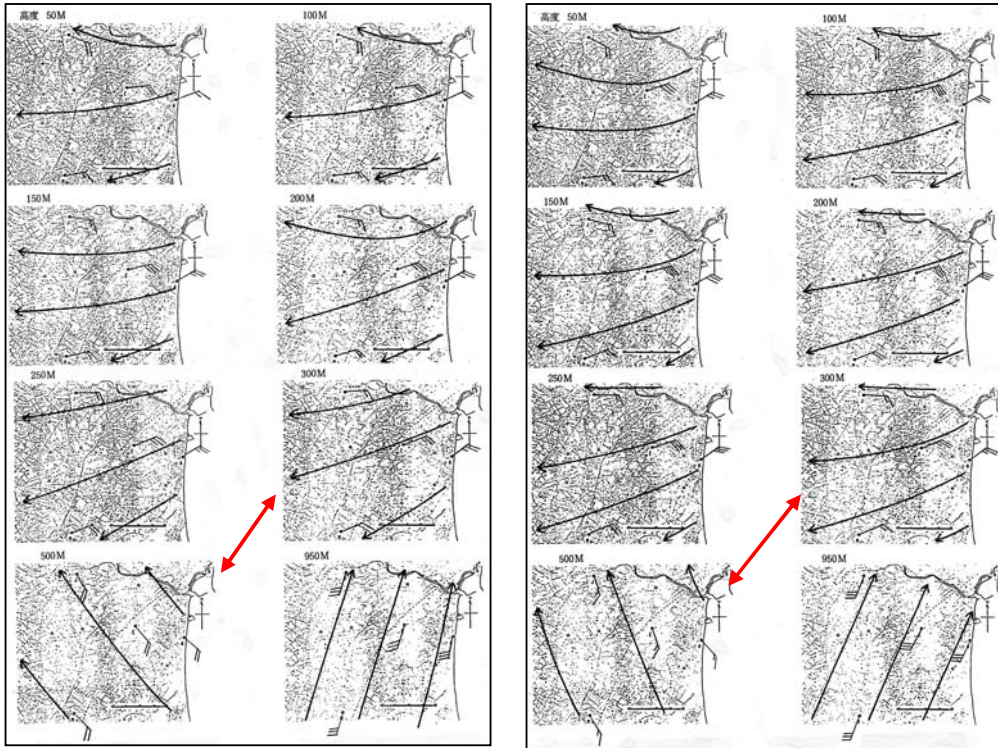


図 8 高度別流線図（図 4 と同様、ただし、左図：RUN7 前半、右図：RUN7 後半）

### 3 RUN8 の解析

天気図は RUN7 と共通で 図 7 である。地上風は海風で、パスキル安定度は前半が B、後半が A-B である。図 11 に RUN8 の高度別流線図を示すが、前半も後半も 300m 以下で流線が曲率をもっていることがわかる。これは領域内の風向の水平一様性が保たれていないことを意味する。また、前半も後半も 200m と 500m の間に風向の鉛直シアが認められる。詳しく見るために、図 12 に RUN8 の風向風速鉛直断面図を示すが、前半、後半ともに 225～375m に風向の鉛直シアが確認される。700m 程度にも弱い風向鉛直シアが認められる。下から上に向って、東風の海風、遷移層、南風、南南東風の 4 層構造になっている。図 13 に RUN8 の風速鉛直分布を示すが、高度約 300m に風速の極小値が現れ、その前後の高度に弱い風速鉛直シアが認められる。風速が単純に増加して風速鉛直分布のべき法則が適用可能な範囲はおおよそ 200m 以下である。結局、300m を中心として厚さ約 150m の層が、下層の海風とその上の反流または一般流との遷移層となっていることがわかる。

### 4 RUN9 の解析

天気図は RUN 7 と共通で 図 7 である。後半は視程が悪く気象観測に欠測が多いので、前半を解析した。地上風は海風で、パスキル安定度は D である。図 14 に RUN9 の高度別流線図を示す。前半は 200m と 500m の間に風向の鉛直シアが認められる。詳しく見るために、図 15 に RUN9 の風向風速鉛直断面図を示すが、前半は 75～325m に風向の鉛直シアが確認される。500m 程度にも弱い風向鉛直シアが認められる。下から上に向って、東南東風の海風、遷移層、南風、南南東風の 4 層構造になっている。図 16 に RUN9 の風速鉛直分布を示すが、風速の増加率は 100m 以下、100m



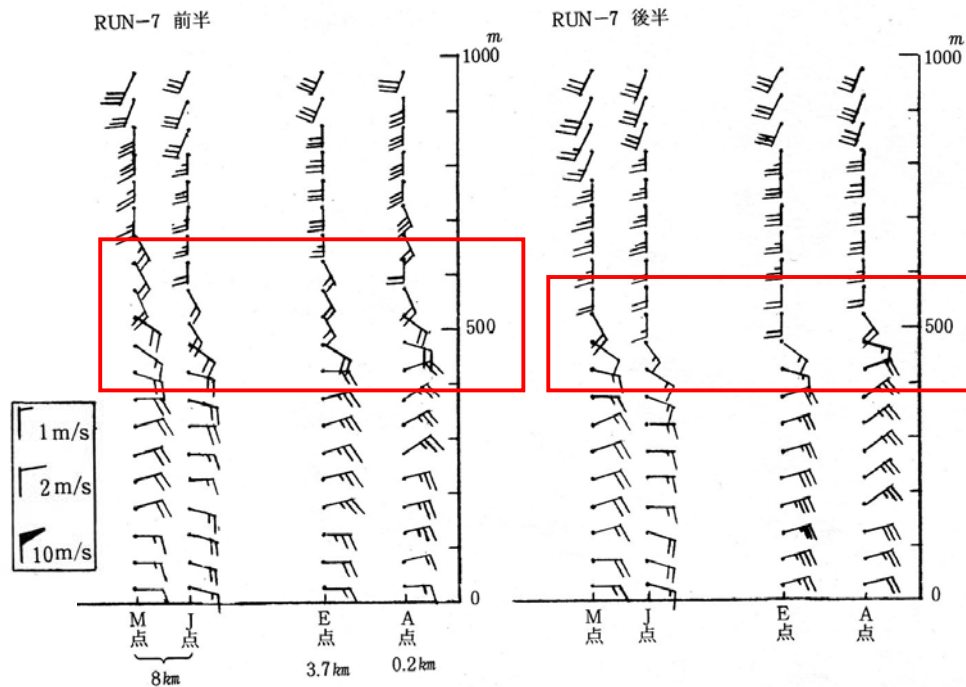


図 9 RUN7 の風向風速鉛直断面図（図 5 と同様、ただし、前半の A 点の地上 25m の風は東風 3m/s 前後を表している。）

～500m, 500m 以上の 3 層でそれぞれ異なっている。風速が単純に増加して風速鉛直分布のべき法則が適用可能な範囲はせいぜい 100m 以下である。結局、250m を中心として厚さ約 500m の層が、下層の海風とその上の一般流との遷移層となっていることがわかる。

## 5 RUN10 の解析

図 17 に RUN10 と 11（8 月 28 日）の天気図を示した。日本海に高気圧があり、本州南岸に前線が停滞しているため、本州南部は曇雨天となった。現地もはじめのうち雨が降る天気であったが、午後は晴れ間も見られるようになった。風は午後になって弱まり 1m/s 程度で、風向は東北東から南寄りの風に変化した。RUN10 の前半、後半ともに弱い海風で、パスキル安定度は B である。特に、前半の地上風は一応、東北東風であるが、弱風のために風向変化が大きかった。

図 18 に RUN10 の高度別流線図を示す。前半と後半ともに 500m と 950m の間に風向の鉛直シアーが認められる。詳しく見るために、図 19 に RUN10 の風向風速鉛直断面図を示すが、前半は 525～925m に、後半は 425～675m に風向の鉛直シアーが確認される。775m 以上にも E 点と J 点には風向鉛直シアーが認められる。特に、J 点の風向は全高度に渡って高度変化が激しい。図 20 に RUN10 の風速鉛直分布を示すが、前半は 400m 程度に最大が、900m 程度に極小が認められる。風速が単純に増加して風速鉛直分布のべき法則が適用可能な範囲はこの 400m 以下である。それ以上のほとんどの高度では風速がマイナス勾配となっているのでべき法則は適用できない。後半は全層が弱風となっているために、はっきりした風速鉛直シアーは認められないが、かすかに 500m 程度に風速の極小が認められる。

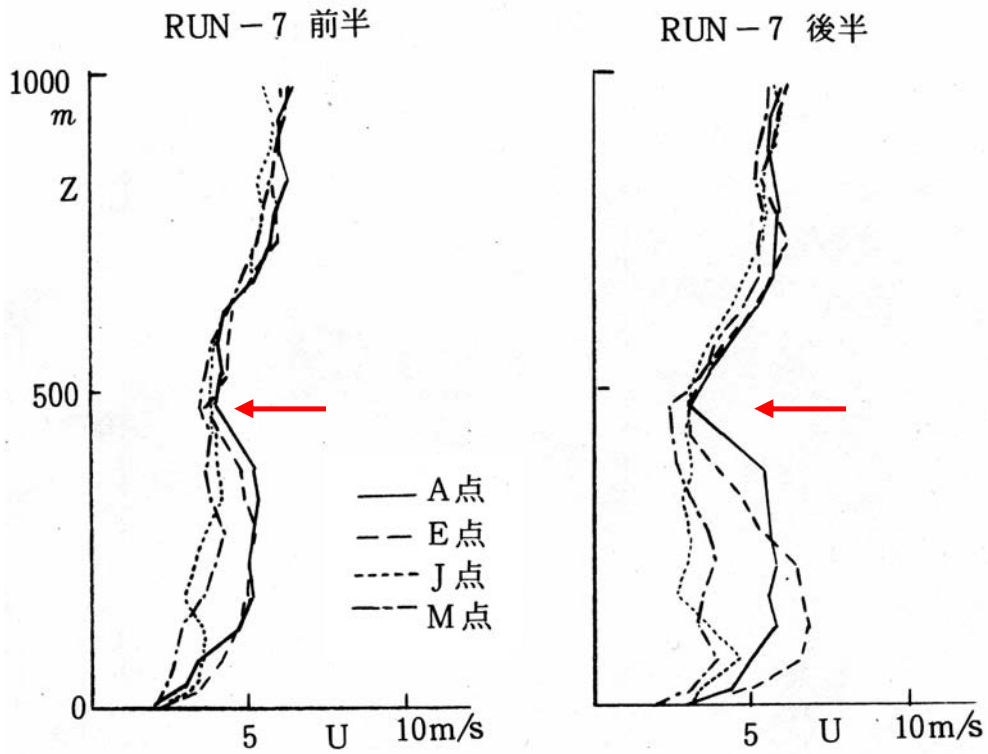


図 10 RUN7における4地点の風速鉛直分布（図6と同様）

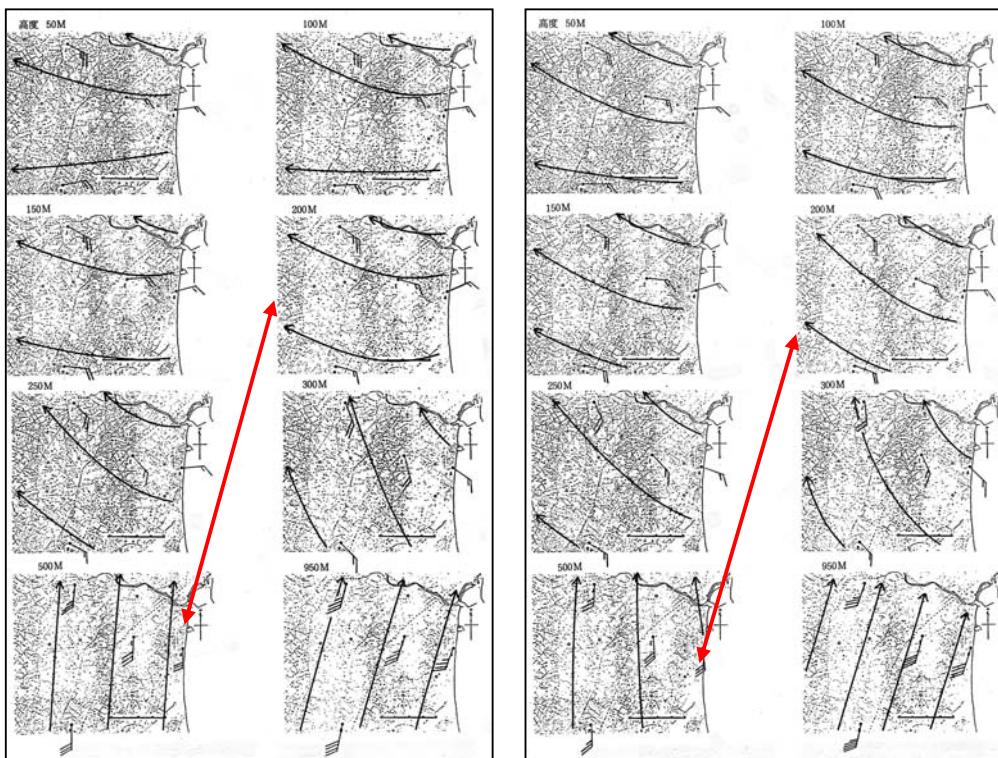


図 11 高度別流線図（図4と同様，ただし，左図：RUN8前半，右図：RUN8後半）

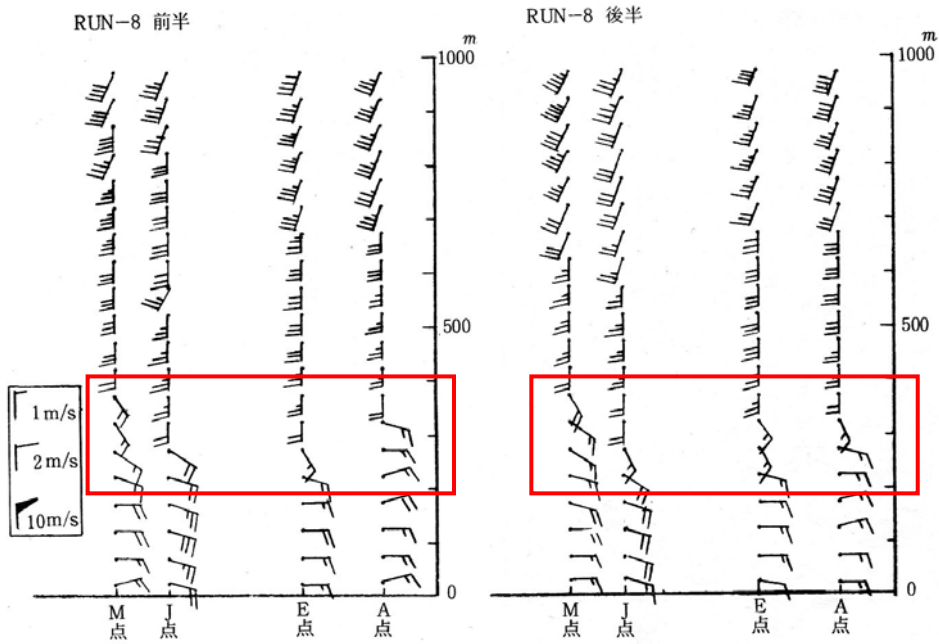


図 12 RUN8 の風向風速鉛直断面図 ( 図 5 と同様、ただし、後半の A 点の地上 25m の風は東風 3m/s 前後を表している.)

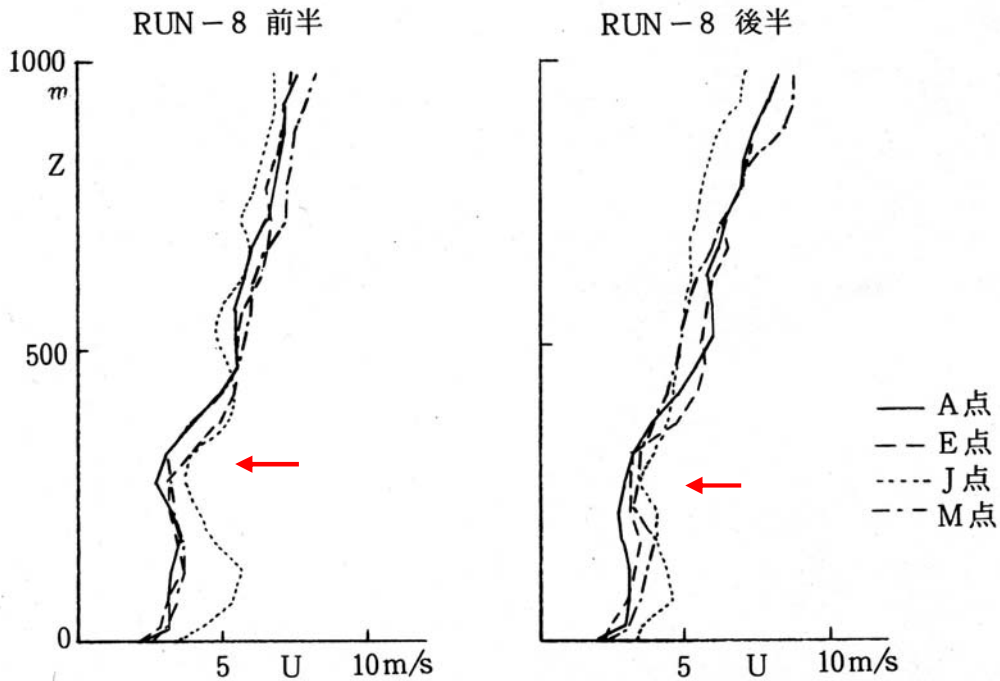


図 13 RUN8 における 4 地点の風速鉛直分布 ( 図 6 と同様)



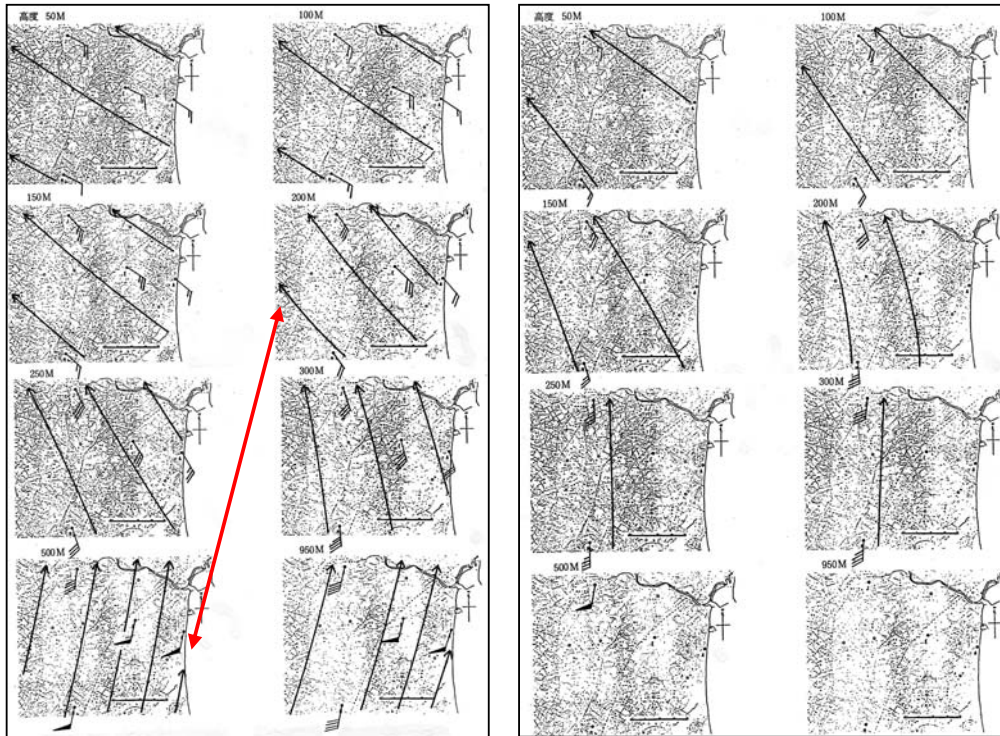


図 14 高度別流線図（図 4 と同様、ただし、左図：RUN9 前半、右図：RUN9 後半）

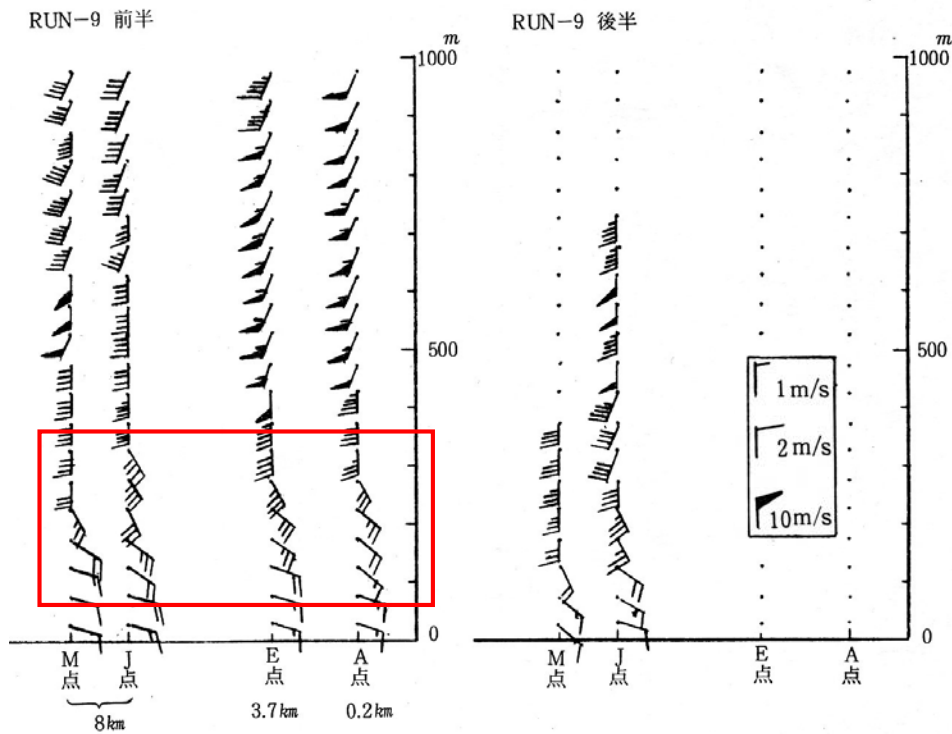


図 15 RUN9 の風向風速鉛直断面図（図 5 と同様、ただし、前半の A 点の地上 25m の風は東南東風 3m/s 前後を表している。）



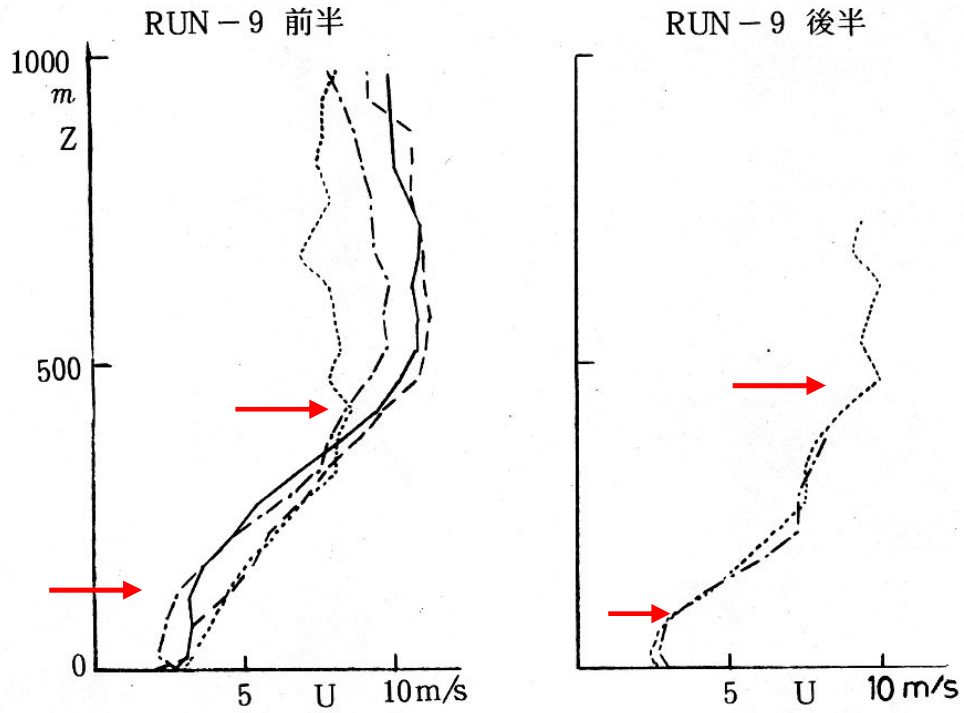


図 16 RUN9における4地点の風速鉛直分布（図6と同様. 赤色矢印は、本文で言及した着目高度を示す.）

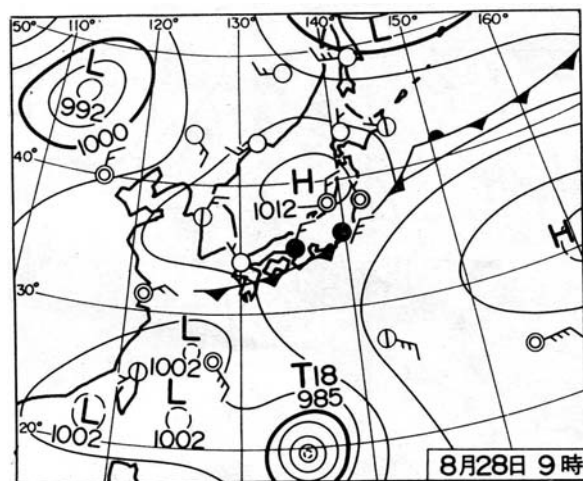


図 17 RUN10 と 11 の実施日の天気図

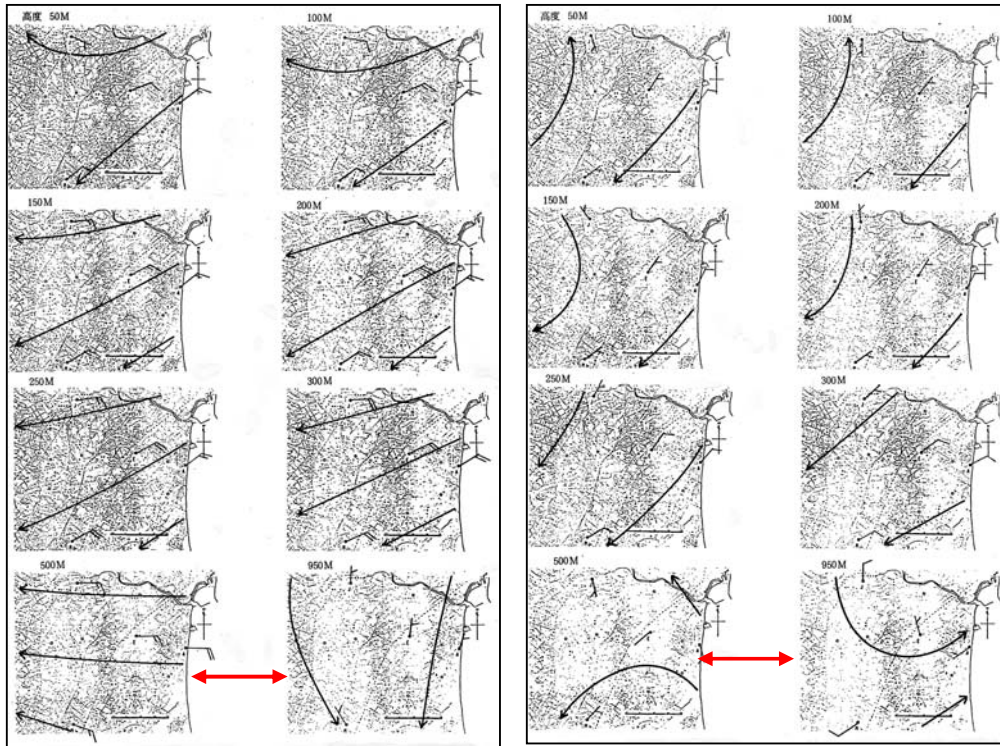


図 18 高度別流線図（図 4 と同様，ただし，左図：RUN10 前半，右図：RUN10 後半）

## 6 RUN11 の解析

該当の天気図は RUN10 と共通で 図 17 である。RUN11 の前半，後半ともに風弱く，地上風向は海風と陸風の境目で，夕方のためにパスキル安定度は D である。特に前半は風向が大きく変動した。

図 21 に RUN11 の高度別流線図を示す。前半は 200m と 250m の間，および 500m と 950m の間に風向の鉛直シアーが認められる。後半は 150m と 300m の間，および 300m と 500m の間に風向の鉛直シアーが認められる。詳しく見るために，図 22 に RUN11 の風向風速鉛直断面図を示すが，前半は 125～325m 間および 375～775m 間に，後半は 125～475 m 間および 525～825m 間に風向の鉛直シアーが確認される。特に，前半の J 点の 125m 以下が他の地点の風向とはっきりと異なっていて，弱風のために水平一様性が崩れている。図 23 に RUN11 の風速鉛直分布を示すが，全層が弱風のために高度変化が顕著でない。詳しく見れば前半は 400m 程度が最大になっていて，後半は 100m 程度が最大で，400m 程度が極小となっている

## IV まとめ

茨城県那珂郡東海村において 1981 年 8 月に観測された海風の水平分布と鉛直分布から，高度約 1km 以下に表れた顕著な風向または風速の鉛直シアーを 11 例抽出して，詳しく解析した結果，次のことが判明した。ただし，大気汚染濃度予測に言及する場合は，ほぼ短期濃度評価に関するものであるが，現象の出現頻度が多い場合は長期濃度評価にも波及する事柄である。

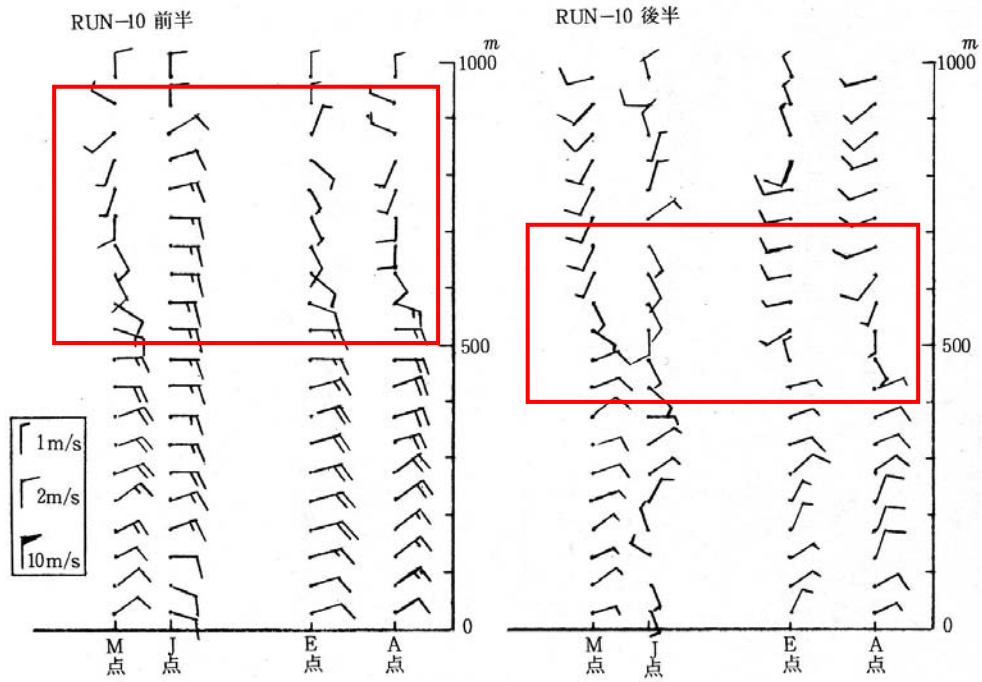


図 19 RUN10 の風向風速鉛直断面図（図 5 と同様，ただし，前半の A 点の地上 25m の風は北東風 2m/s 前後を表している．）

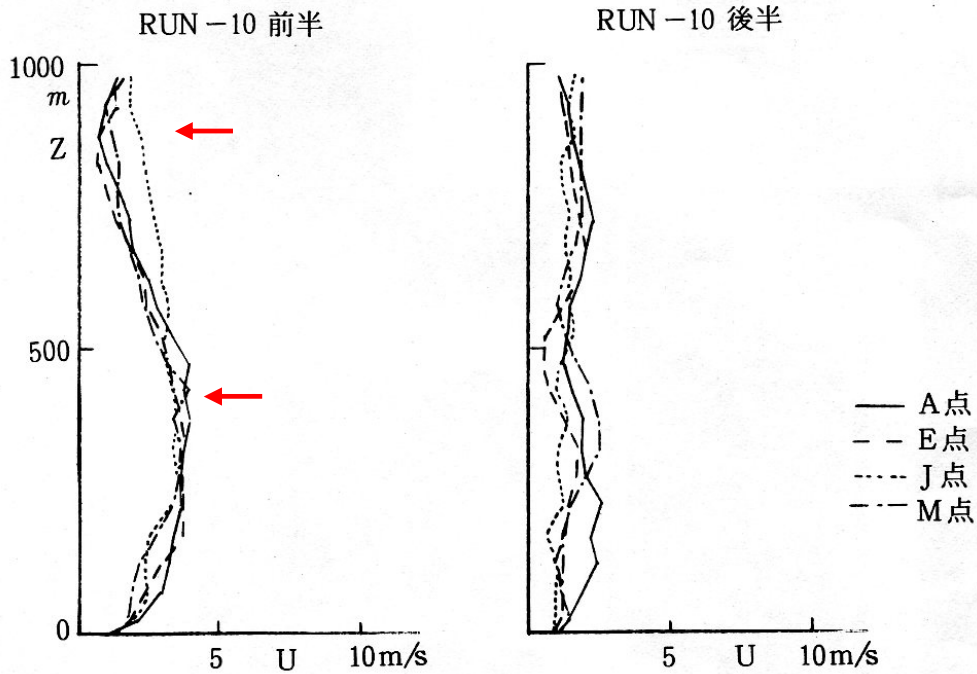


図 20 RUN10 における 4 地点の風速鉛直分布（図 16 と同様）



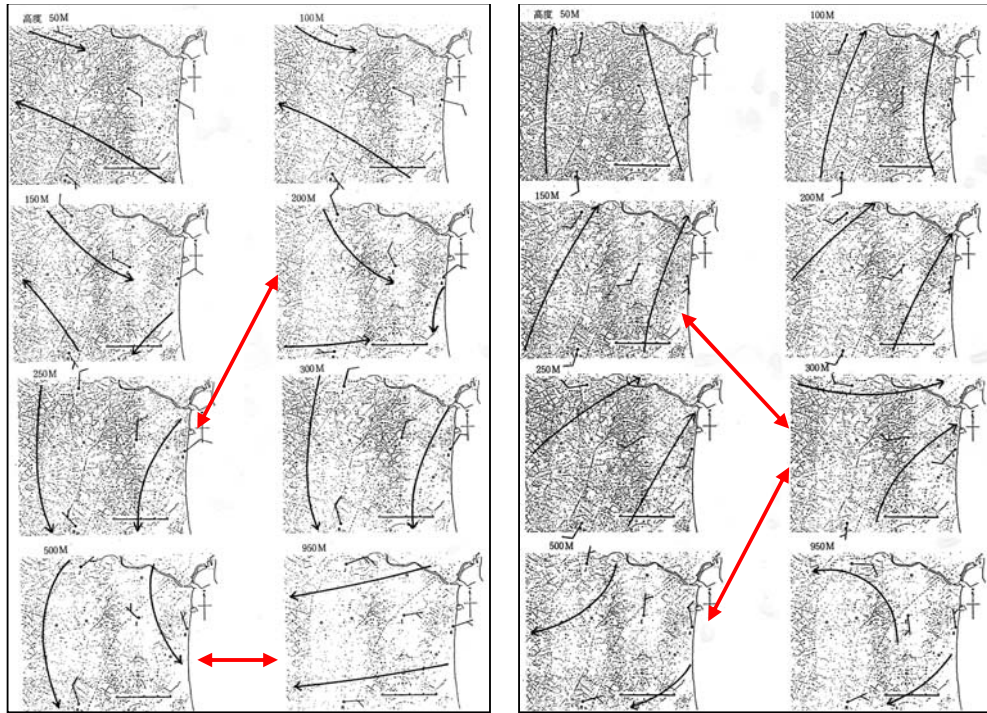


図 21 高度別流線図（図 4 と同様、ただし、左図：RUN11 前半、右図：RUN11 後半）

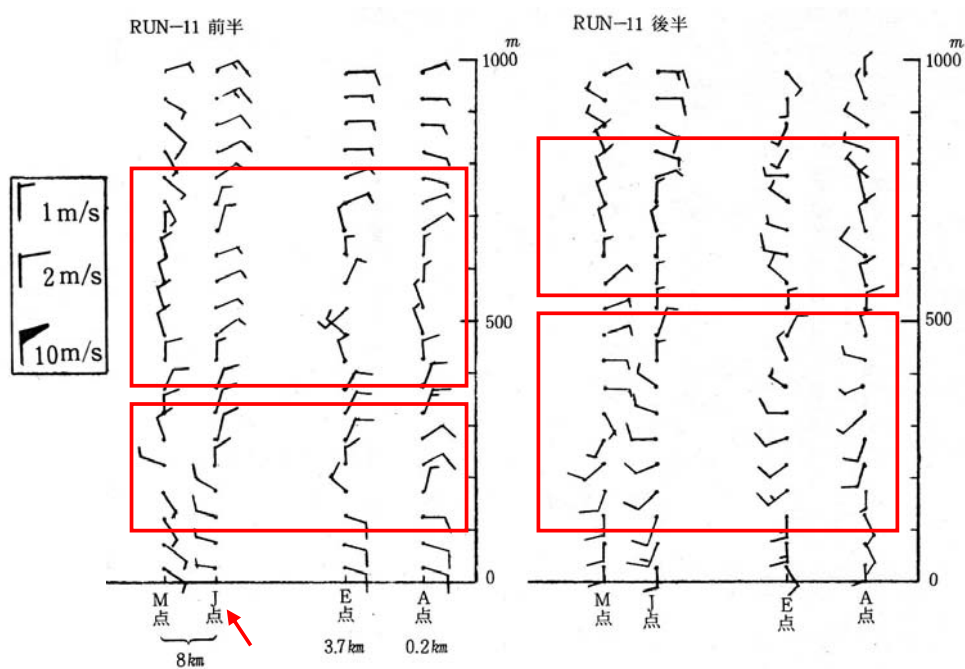


図 22 RUN11 の風向風速鉛直断面図（図 5 と同様、ただし、前半の A 点の地上 25m の風は東南東風 2m/s 前後を表している。）



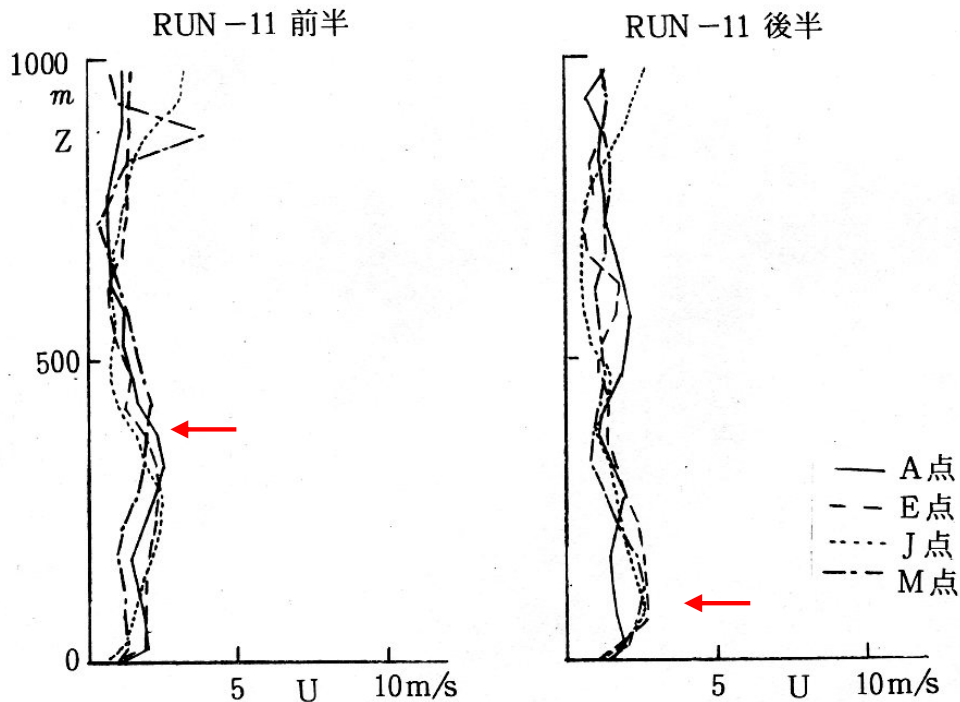


図 23 RUN11 における 4 地点の風速鉛直分布 (図 16 と同様)

1. 研究対象領域の高度 300m 以下において、流線は直線ばかりでなく、曲率を持つ場合があったことから、風向の水平一様性は必ずしも保たれていない。このことは、大気汚染濃度の予測計算を行うときに風向として、放出点の値だけを使うと、煙軸位置にある程度の誤差が生じる可能性を示唆している。
2. 風向の高度差がほぼ 90 度以上の鉛直シアーは地上 75~925m に現れた。このことは、大気汚染濃度の予測計算を行うときに、地上付近の風向をもって数 100m 上空の風向の代替とすると、煙軸方向に 90 度以上の誤差が生じる可能性を示唆している。そのことによって、煙軸が陸上に現れるか、大気汚染濃度評価の対象外の海上に現れるかという、評価上の大きな違いに発展する可能性もある。
3. 風向の変化途中の遷移層の厚さは 150~400m であった。
4. 風向の鉛直シアーは風速の極小または風速のマイナス勾配を伴う場合が多い。
5. 顕著な鉛直シアー出現の高さや程度は、一般流の影響を受けるので規則性を見つけることはむずかしい。
6. 風速の極小または風速のマイナス勾配が地上 100m 以上に現れることがあった。このことは、風速鉛直分布のべき法則が適用できるのはせいぜい地上 200m 以下であることを示唆している。

以上の知見は大気汚染濃度予測などの研究または行政面での規制に役立つとともに、大学や高校において気象学や大気環境関係の講義教材として活用できる。

## 参考文献

- [1] 安達隆史, 筑紫文夫, 林 隆, 2006 : 茨城県東海村の沿岸地域で観測された海風の鉛直分布, 山梨大学教育人間科学部紀要, 7(2), 1-8.
- [2] 角田道生, 林 隆, 1986 : 大気拡散実験データ Vol. 1, ” TOKAI 80, TOKAI 81 ”, 日本原子力研究所, JAERI-M 86-021, 270pp.
- [3] 荒井友香, 安達隆史, 2008 : 茨城県東海村における 1992 年の夏と冬の上層風, 山梨大学教育人間科学部紀要, 9, 14-21.
- [4] 角田道生, 林 隆, 安達隆史, 1987 : 野外大気拡散実験 (緊急時線量予測システム開発のための野外実験及び風洞実験の第 2 章) , 日本原子力研究所, JAERI-M 86-187, 2-45.
- [5] 安達隆史, 1999 : 境界層理論と野外実験の適用による大気拡散推定法の研究, 大気環境学会誌, 34(2), 43-52.